

DOI:10. 3969/j. issn. 1674 - 1951. 2019. 07. 013

NG - M701F - R 型余热锅炉高压过热器 爆管原因分析及解决办法

Cause analysis and solution for tube burst in high-pressure superheater
of NG - M701F - R heat recovery boiler

张俊伟
ZHANG Junwei

(深圳市广前电力有限公司,广东 深圳 518054)
(Shenzhen Guangqian Electric Power Company Limited, Shenzhen 518054, China)

摘 要:NG - M701F - R 型余热锅炉高压过热器在运行初期多次发生爆管,严重影响了机组的安全运行。从机组运行方式、减温水、焊接、结构、烟气 5 个方面对爆管原因进行了分析,认为周期性热应力、减温水流量超量程、焊接质量不合格、管束结构不合理、旋转烟气流是导致高压过热器爆管的主要原因。通过优化机组运行方式、加强高压过热器检修工作的管理、增加补偿弯管、加固余热锅炉模块的防振支架并装设防振梁,达到了防止高压过热器爆管的目的。

关键词:NG - M701F - R; 余热锅炉; 高压过热器; 爆管; 减温水流量; 焊接质量; 管束结构; 旋转烟气流

中图分类号:TK 223. 32 **文献标志码:**B **文章编号:**1674 - 1951 (2019) 07 - 0046 - 04

Abstract:There were several tube bursts in the high-pressure superheater of NG - M701F - R heat recovery boiler during its initial operation, which seriously affected the safety of the unit. Cause analysis is conducted from operation mode, desuperheating water, welding, structure and exhaust gas of the unit. It is convinced that periodic thermal stress, over-range desuperheating water flow, poor welding quality, unreasonable structure of tube bundles and rotating exhaust gas flow are the main reasons. By optimizing operation mode of the unit, strengthening management of high-pressure superheater maintenance, adding compensation bend, reinforcing the anti-vibration bracket and installing anti-vibration beam, tube in the high-pressure can be protected from burst.

Keywords:NG - M701F - R; heat recovery boiler; high-pressure superheater; tube burst; desuperheating water flow; welding quality; structure of tube bundles; rotating exhaust gas flow

0 引言

燃气 - 蒸汽联合循环发电机组因其有启停快、调峰性能强、发电效率高、排放污染低、建设周期短、系统设备相对少、自动化程度高等优点,近年来在我国发电企业中的应用越来越广泛。NG - M701F - R 型余热锅炉,与 M701F 燃气轮机(以下简称燃机)相匹配,为三压、再热、无补燃、自然循环、卧式露天布置,设计热效率为 86. 46%。前湾燃机电厂一期 3 × 390 MW 燃气 - 蒸汽联合循环发电机组是与广东省液化天然气项目相配合的大型项目之一,各配 1 台 NG - M701F - R 型余热锅炉。2005 年该厂投产以

来,3 台余热锅炉的高压过热器均出现爆管现象,爆管位置多集中在高压过热器 2 个中间集箱与其进口管束的拉拔管接口焊纹处。据了解,其他采用 NG - M701F - R 型余热锅炉的电厂也存在此问题。因此,准确分析该现象产生的原因,提出有针对性的措施并实施,对于采用该型余热锅炉的电厂十分迫切。

1 NG - M701F - R 型余热锅炉结构概述

NG - M701F - R 型余热锅炉采用单排框架结构,全悬吊形式,主要由进口烟道、余热锅炉本体(本体受热面和钢架护板)、出口烟道、主烟囱、高中低压汽包、汽水管道、平台扶梯等部件以及给水泵、给水再循环泵、排污扩容器等辅机组成。该型余热锅炉的本体受热面采用 N/E 标准设计模块结构,由垂直

布置的顺列螺旋鳍片管和进出口集箱组成。共包含 6 个模块,每个模块沿余热锅炉宽度方向分成左、中、右 3 个管屏,管屏上端悬挂在顶部悬吊装置上,管屏下端的集箱采用柔性支撑,便于管屏垂直方向的膨胀和收缩;在各管屏的高度方向设置了防振支架,并在整个模块宽度方向的不同间距上设置了隔振板,这样设计的目的是防止高速烟气冲击管束引起振动和噪声^[1]。燃机排出的高温烟气通过进口烟道进入余热锅炉本体,依次冲刷第 1 至第 6 模块,最后通过出口烟道由主烟囱排向大气。其中,模块 1 包括再热器 2、高压过热器 2,模块 2 包括再热器 1、高压过热器 1。

2 高压过热器布置、工质流程及爆管情况

NG - M701F - R 型余热锅炉的高压过热器由高压过热器 2 和高压过热器 1 组成,高压过热器 2 属高温段,而高压过热器 1 属低温段,它们分别布置在模块 1 和模块 2 中,中间还设置了喷水减温器。高压过热器 2 的纵向排数为 2 排,横向排数为 105 排,采用开齿螺旋鳍片管;高压过热器 2 的管子材料为 SA213T91,鳍片材料为 SS409,鳍片管与中间集箱采用拉拔管对接焊缝形式,中间集箱材质为 SA335P91。高压过热器 1 的纵向排数为 4 排,横向排数为 108 排,也采用开齿螺旋鳍片管;高压过热器 1 的管子材料为 SA213T22,鳍片材料为 SS409。NG - M701F - R 型余热锅炉的高压主蒸汽主要设计参数:最大连续蒸发量,276.70 t/h;额定蒸汽出口压力,10.22 MPa;额定蒸汽出口温度,540.00 ℃。高压过热器的工质采用全回路流程,工质一次流过锅炉宽度方向的一排管子;来自高压汽包的饱和蒸汽通过饱和蒸汽连接管进入高压过热器 1 进口集箱,依次流经 4 排鳍片管后进入高压过热器 1 出口集箱,再由连接管引至喷水减温器,根据高压主蒸汽集汽集箱出口汽温进行喷水减温后,进入高压过热器 2 进口集箱,再依次流经 2 排鳍片管后进入高压过热器 2 出口集箱,由连接管引至由高压主蒸汽集汽集箱,最后由高压主蒸汽管道进入汽轮机高压缸^[1]。高压过热器工质流程如图 1 所示。

前湾燃机电厂一期余热锅炉高压过热器的爆管位置多集中在高压过热器 2 中间集箱与其进口管束的拉拔管接口焊纹处;采用同型号余热锅炉的其他电厂也存在高压过热器爆管问题,且爆管位置也集中在高压过热器 2 中间集箱与其进口管束的拉拔管接口焊纹处。

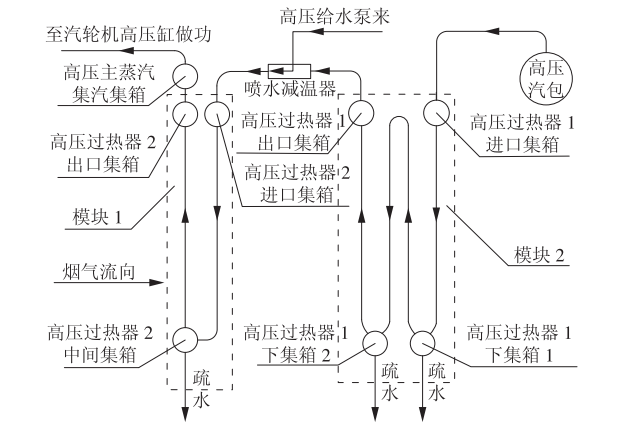


图 1 高压过热器工质流程示意
Fig.1 Working substance flow of high-pressure superheater

3 高压过热器爆管原因分析

经过与余热锅炉厂家及相关技术人员的共同研究分析,认为造成高压过热器爆管的原因主要有以下几方面。

(1)周期性热应力引起管子疲劳裂纹。余热锅炉每次启、停或调峰运行,管子的压力和温度呈周期性交替变化,日积月累,将产生疲劳裂纹。以前湾燃机电厂为例,每台机组平均年启、停次数达 230 ~ 250 次;另外,由于燃机启、停时间短,且升降负荷快,因此燃机电厂也承担着重要的电网调峰任务。

(2)机组经常带低负荷运行,且在低负荷运行时高压过热器减温水流量容易超量程。某 NG - M701F - R 型余热锅炉高压过热器减温水情况统计见表 1。

由表 1 可知,当机组负荷 ≤ 276.23 MW 时,高压过热器减温水流量已超量程(32.15 t/h)。由于 NG - M701F - R 型余热锅炉的高压过热器按单级减温水设计,减温器后的蒸汽温度下降相对较大,减温器后的蒸汽过热度相对较小,在 220.00 MW 时减温器前、后蒸汽温差甚至达到 180.00 ℃,这样容易造成减温器后的蒸汽局部带水严重,尤其以高压过热器 2 进口管束最靠近减温水的管束(左侧)带水程度最为严重;进入余热锅炉内部检查时也发现,仅有高压过热器 2 进口管束最靠近减温水的管束(左侧)与中间集箱连接处出现裂纹^[2]。高压过热器 2 进口管束最靠近减温水的管束(左侧)受喷水减温影响最大,温度过低,而高压过热器 2 进口管束离减温水较远的管束(右侧)受喷水减温影响较小,因此该区域的管束温度相对较高;高压过热器 2 进口管束最靠近减温水的管束(左侧)温度与高压过热器 2 进口管束离减温水较远的管束(右侧)温度有一定的偏差,两者的热膨胀量也不同;高压过热器 2 进口管束最靠近减温水的管束(左侧)温度较低,其热膨

表 1 某 NG－M701F－R 型余热锅炉高压过热器减温水情况统计

Tab.1 Statistics on desuperheating water in a high-pressure superheater of a NG－M701F－R heat recovery boiler

负荷/MW	高压主蒸汽			减温水流量/ (t·h ⁻¹)	减温器前 温度/℃	减温器后 温度/℃
	压力/MPa	温度/℃	流量/(t·h ⁻¹)			
170.67	5.47	528.34	166.07	32.15(B 侧)	473.54	269.97
221.48	7.18	555.38	213.49	32.15(B 侧)	494.63	315.74
234.11	7.68	555.01	228.65	32.15(B 侧)	491.62	321.70
246.29	7.82	555.92	233.75	32.15(B 侧)	491.62	321.62
254.53	8.04	555.80	239.99	32.15(B 侧)	494.63	340.05
267.16	8.10	555.09	241.53	32.15(B 侧)	493.77	353.15
276.23	8.30	552.95	248.08	32.15(B 侧)	494.92	369.71
284.83	8.44	554.81	251.34	31.17	497.21	378.88
317.06	8.37	555.52	251.23	29.71	497.21	375.32
334.27	8.87	555.52	264.77	29.05	497.21	387.61
338.39	9.16	555.52	273.16	26.71	497.21	399.87
342.42	9.44	555.52	281.13	23.58	497.21	412.04
346.54	9.44	555.52	281.13	22.68	494.20	415.07
346.54	9.44	555.52	282.70	22.27	494.20	415.07

胀量相对较小,所以受到拉力,拉应力集中在高压过热器 2 中间集箱与其进口管束的拉拔管接口焊纹处,当此处拉应力超过其所能承受的最大应力时,就会产生裂纹甚至爆管。

(3)金相分析发现,个别鳍片管与高压过热器 2 中间集箱的拉拔管对接焊缝焊接和热处理过程存在偏差,焊接区的缺陷需要局部修复。局部返修后二次加热,使得靠近焊缝熔合线母材区域的晶粒急剧变大^[3]。

(4)管束结构影响。高压过热器 2 中间集箱与其进口管束之间采用 90°弯管连接方式,而与其出口管束之间采用直管连接方式。高压过热器 2 中间集箱的出口管束位于烟气流向上的上游,而高压过热器 2 中间集箱的进口管束则位于烟气流向的下游。高温烟气在加热高压过热器 2 中间集箱的出口管束后,才对高压过热器 2 中间集箱的进口管束进行加热,因此高压过热器 2 中间集箱的出口管束温度较高,向下的膨胀量较大,而高压过热器 2 中间集箱的进口管束又受减温器过来的减温水的影响,管壁温度更低,管束向下的膨胀量则相对较小。高压过热器 2 中间集箱进、出口管束膨胀差的存在将形成附加应力。高压过热器 2 中间集箱的进、出口管束温差越大,膨胀量相差也就越大,附加应力的影响也就越大。当高压过热器 2 中间集箱与其进口管束的拉拔管接口焊纹处附加应力超过其所能承受的最大应力时,就会出现裂纹,甚至爆管。

(5)旋转烟气流的影响。燃机的转速为 3 000 r/min,燃机透平的排气流量为 2 343.36 t/h,燃机透

平的排气温度为 588.00℃,燃机透平的排气压力为 3.30 kPa,燃机透平的排气经燃机排气段、余热锅炉进口烟道后,仍将以一定的流速旋转进入余热锅炉本体受热面。因此作用到余热锅炉本体受热面管子上的力可分为 2 种,一种是烟气往余热锅炉方向流动时产生的轴向作用力,另一种是烟气流旋转产生的剪切力。从燃机往余热锅炉侧看,烟气流顺时针旋转。根据余热锅炉本体受热面管屏的悬吊和管子布置方式可知,在剪切力的作用下,从燃机往余热锅炉侧看,管屏会往左摆动,同时在自身重力作用下又会向右摆动;在轴向力的作用下,管屏将向烟气流动方向摆,同时在自身重力作用下又会沿烟气流动反方向摆动。由于余热锅炉模块 1(再热器 2、高压过热器 2)位于余热锅炉内烟气流向上的最首端,因此其受到的轴向力和剪切力最大^[4]。若余热锅炉内防振支架强度不够的话,易引起防振支架损坏,而一旦防振支架损坏,则会加剧余热锅炉本体各模块管子的损坏。另外,旋转烟气流也会使进入管屏前的烟气流场不均匀,管屏或管子因受热不均而形成热偏差,产生热应力,日积月累,从而导致管子损坏。

4 高压过热器爆管的应对措施

针对高压过热器爆管的原因,提出了以下应对措施并实施。高压过热器 2 原始结构如图 2 所示,高压过热器 2 改进后结构如图 3 所示。

(1)优化机组运行方式。加强与电力调度机构的紧密联系,最大限度地争取机组连续运行的时间;机组不宜长时间在较低负荷下调峰运行,通过与电

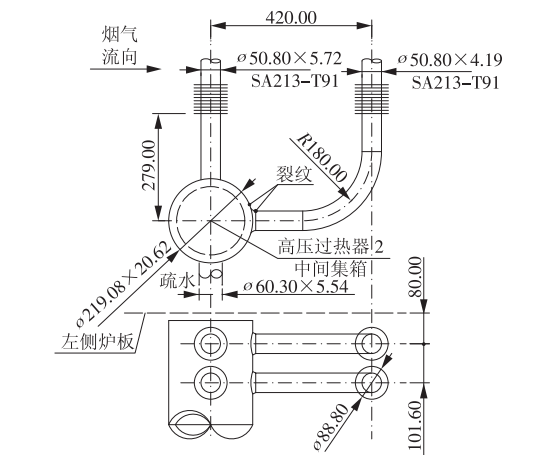


图 2 高压过热器 2 原始结构示意

Fig. 2 Original structure of the No. 2 high pressure superheater

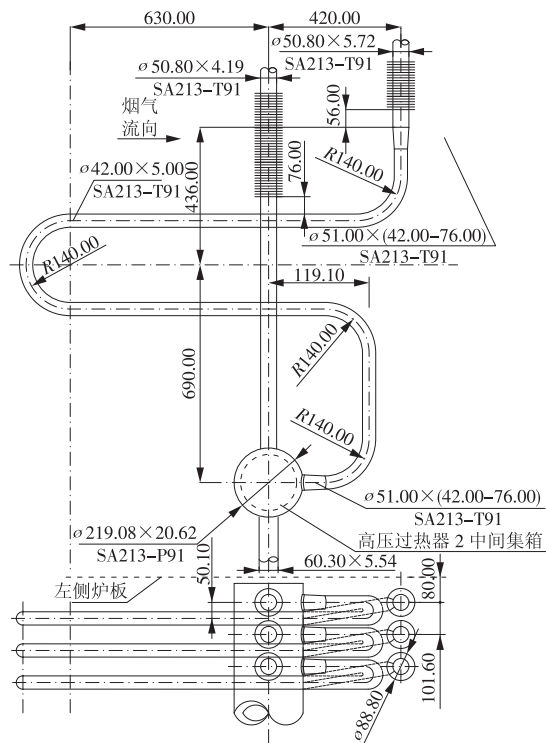


图 3 高压过热器 2 改进后结构示意

Fig. 3 Improved structure of the No. 2 high pressure superheater

力调度机构进行交流和沟通,机组按不低于 70% 额定负荷进行调峰运行,即夏季不低于 250.00 MW、冬季不低于 280.00 MW^[2];对原三菱设定的燃机温控线进行优化,适当降低燃机的排烟温度,从而使高压过热器的减温水流量不超量程。

(2)加强高压过热器检修工作的管理,严格控制检修质量。参加设备检修的人员应注意现场检修装配工艺和顺序,必须按照工艺要求实施装配、焊接及焊后热处理。焊口质量必须经射线探伤检验合

格^[5]。相关技术监督人员应制定详细、科学、合理的监督计划,并严格按照计划跟踪监督好高压过热器检修工作中的各个环节,确保各环节检修质量优秀。

(3)为减小模块 1 中高压过热器 2 中间集箱的进、出口管束膨胀差,减少高压过热器 2 中间集箱与其进口管束的拉拔管接口焊接口附加应力,增加其补偿能力,在高压过热器 2 第 2 排管束进入中间集箱处增加一个补偿弯管。

(4)为防止燃机运行过程中排放旋转烟气流引起余热锅炉各模块管屏振动导致管子的损坏,不仅加固了余热锅炉模块的防振支架,还装设了防振梁。

5 结束语

周期性热应力、减温水流量超量程、焊接质量不合格、管束结构不合理、旋转烟气流是导致高压过热器爆管的主要原因。为解决高压过热器爆管问题,前湾燃机电厂采取的措施包括:(1)优化机组运行方式;(2)加强高压过热器检修工作的管理;(3)在高压过热器 2 第 2 排管束进入中间集箱处增加一个补偿弯管;(4)加固余热锅炉模块的防振支架并装设防振梁。在采取上述 4 项措施后,前湾燃机电厂一期 3 台发电机组的余热锅炉高压过热器运行状况一直良好,表明对高压过热器爆管的原因分析及采取的措施是科学、合理的。NG - M701F - R 型余热锅炉高压过热器爆管问题的解决,可为其他同类型设备电厂的安全运行提供参考。

参考文献:

[1] 杭州锅炉集团有限公司. NG - M701F - R 型余热锅炉设计说明书[Z]. 2005.

[2] 赖新华. 调峰运行对 NG - M701F - R 余热锅炉设备的影响[J]. 广东电力, 2010, 23(7): 72 - 75.

[3] 赵勇. S109FA 燃机余热锅炉高压过热器泄漏原因分析及处理[J]. 华电技术, 2010, 32(5): 65 - 67, 83.

[4] 黄力森. 余热锅炉第一模块容易爆管原因分析及对策[J]. 能源与节能, 2016(2): 28 - 29, 31.

[5] 斯宝祥, 陈石凌, 马春江, 等. 9FA 燃机余热锅炉高压过热器的技术改造与监督[J]. 浙江电力, 2013(4): 48 - 51.

(本文责编:白银雷)

作者简介:

张俊伟(1982—),男,陕西武功人,工程师,从事燃气 - 蒸汽联合循环电厂生产运行工作(E-mail: zjwlxr@163.com)。